

Эти уравнения могут быть использованы для синтеза общей системы уравнений, объединяющей уравнения движения потоков, теплообмена и массообмена, с целью исследования процесса прокаливания углеродных материалов в барабанной вращающейся печи вычислительным экспериментом. Кроме того, вышеприведенный принцип также можно использовать и для моделирования других тепловых агрегатов, например, электрокальцинатора, с учетом некоторых поправок, обусловленных его конструктивными особенностями и технологией процесса.

Список использованных источников

1. Арутюнов В.А., Бухмиров В.В., Крупенников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей. М.: Металлургия. 1990. С. 238.

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ ГАЗА ПИРОЛИЗА БИОМАССЫ

Шишко Ю.В., Губинский С.М.

*Национальная металлургическая академия Украины,
г. Днепрпетровск, Украина*

Необратимое снижение ресурсов ископаемых топлив и, как следствие, их удорожание, стимулирует разработку технологий эффективного использования возобновляемых источников энергии. Не менее важным преимуществом возобновляемых источников энергии над ископаемыми топливами является их экологичность.

При оценке выбросов в окружающую среду в последние годы наряду с остальными компонентами стали обращать серьезное внимание на такие вредные и токсичные вещества, как диоксины и фураны.

Образование диоксинов происходит двумя путями: в результате пиролиза хлорсодержащих соединений – путь, характерный для пожаров, и при остывании дымовых газов при температурах 300÷600 °С в результате взаимодействия молекулярного или атомарного хлора с полиароматическими углеводородами и сажей в присутствии кислорода и тяжелых металлов, катализирующих процесс. В связи с небольшим содержанием хлора в исходном сырье, биомасса, как топливо, имеет преимущество перед ископаемыми видами топлив, так как продукты сжигания и переработки биомассы содержат диоксины в меньшей степени, чем продукты сжигания ископаемых топлив. Однако, в связи с тем, что использование отходов биомассы в энергетических целях имеет тенденцию к возрастанию, необходимо уже на стадии разработки технологий учитывать вопросы минимизации выбросов этих компонентов [1].

За основу для исследований был принят процесс пиролиза мелкодисперсной биомассы (лузга подсолнечника, рисовая и гречневая шелуха, скорлупа грецкого ореха и др.) [2]. Пиролиз – это термическое разложение биомассы, результатом которого является получение твердого материала (коксового остатка) и пиролизного газа с теплотой сгорания 8–10 МДж/м³.

В данной работе для сжигания пиролизного газа предлагается горелочное устройство инжекционного типа, в котором пиролизный газ инжектируется воздухом. Предлагаемое горелочное устройство оснащено керамической насадкой, которая, разогреваясь дымовыми газами, обеспечивает полное дожигание пиролизного газа с максимальным удалением из него вредных и токсичных компонентов.

В рамках разработки такого процесса были выполнены предварительные исследования некоторых вопросов, а именно:

- определение гидравлического сопротивления некоторых видов исходной биомассы;
- с учетом полученных данных выполнен расчет инжекционной горелки.

В результате экспериментальных исследований гидравлического сопротивления были получены эмпирические зависимости для определения коэффициента аэродинамического сопротивления слоя некоторых видов биомассы в широком диапазоне порозности $0,2 \div 0,73$ в виде:

$$\xi = a \cdot \text{Re}^{-b} \quad (1)$$

Аппроксимация экспериментальных зависимостей при различной порозности слоя показала, что коэффициент b , как для лузги, так и для опилок, слабо зависит от плотности слоя и изменяется в узком диапазоне $0,65\text{--}0,81$ при изменении порозности почти в четыре раза. Это позволило при обработке результатов принять коэффициент b постоянным и равным $0,7$.

В тоже время, коэффициент a зависимости (1) является функцией порозности слоя $a = f(E)$. Регрессионные зависимости для расчета коэффициента a , приведены в табл. 1.

Оценка точности полученных уравнений показала, что относительная погрешность вычислений коэффициентов гидравлического сопротивления составляет для шелухи подсолнуха $10\text{--}14\%$, для опилок – 20% .

Таблица 1

Расчетные зависимости для вычисления эмпирического коэффициента a	
Вид биомассы	Коэффициент a
Лузга подсолнечника	$a = 105 \cdot (-9,69 \cdot E^3 + 19,34 \cdot E^2 - 12,97 \cdot E + 2,94)$
Древесные опилки	$a = 1,2 \cdot 10^6 \cdot E - 10,5 \cdot E$

В результате расчетов инжекционной горелки для заданных условий процесса были получены ее конструктивные характеристики: диаметр выходного сечения диффузора $d_4 = 0,05$ м; диаметр горловины $d_{3 \text{ опт}} = 0,022$ м; диаметр входного сечения сопла $d_1 = 0,005$ м; длина горловины $l_3 = 0,066$ м; длина диффузора $l_4 = 0,2$ м.

Схема экспериментальной установки для исследований процесса сжигания пиролизного газа представлена на рисунке 1.

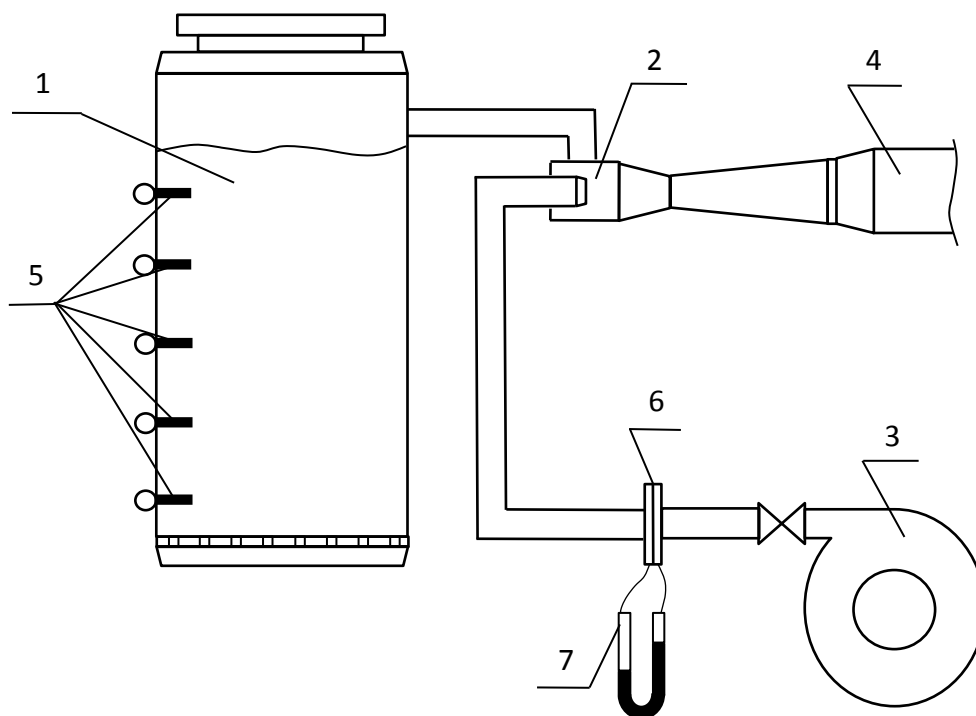


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для сжигания пиролизного газа:

- 1 – камера-реактор пиролиза; 2 – инжектор; 3 – воздушодувка;
4 – горелочный туннель; 5 – термоэлектрические преобразователи;
6 – диафрагма для измерения расхода воздуха; 7 – дифференциальный манометр

Экспериментальные исследования проводились следующим образом. В камеру-реактор 1 загружалось исходное сырье, в качестве которого была использована скорлупа грецкого ореха. Масса загрузки, в среднем, составила 20 кг. Слой материала равномерно поджигался сверху, после чего камера-реактор закрывался крышкой. Одновременно с этим включалась воздуходувка 3. Поток воздуха проходил через инжектор и инжектировал вторичный воздух из камеры-реактора. Дно камеры-реактора было выполнено из сетки, за счет этого воздух проходил через слой ореховой скорлупы снизу вверх, доходил до зоны фильтрационного горения, где происходил процесс окислительного пиролиза и смешивался с образовавшимся пиролизным газом.

Далее газовоздушная смесь выходила через инжектор 3 в горелочный тоннель 4, где в дальнейшем сжигалась. Поджиг газовоздушной смеси от внешнего запальника производился только в течение нескольких первых минут процесса, затем смесь в горелочном тоннеле воспламенялась самопроизвольно. Длительность процесса при одной загрузке установки составила 2 часа. В течение этого времени фронт фильтрационного горения проходил весь слой биомассы по высоте, что сопровождалось постоянным и стойким выходом пиролизного газа. Контроль протекания процесса осуществлялся при помощи термоэлектрических термометров 5 типа ХА. В качестве вторичного прибора, фиксирующего и отображающего результаты измерения температуры, применялся измерительный комплекс на базе персонального компьютера. После завершения процесса пиролиза в реакторе происходило остывание коксового остатка до температуры окружающей среды естественным образом. Затем коксовый остаток выгружался, его масса в среднем составляла 3,5 кг.

Технические характеристики экспериментальной установки:

- масса загружаемого материала – $4 \div 25$ кг;
- расход воздуха на процесс пиролиза $1 \div 10$ м³/час;
- температура процесса – $400 \div 900$ °С;
- температура воздуха на входе в слой биомассы – $0 \div 30$ °С;
- высота слоя биомассы 45–55 см;
- размеры камеры-реактора: диаметр – 300 мм, высота – 900 мм.

Максимальная скорость воздуха ограничивалась значением, при котором частицы биомассы или коксового остатка, образовавшегося в ходе процесса пиролиза, выносились из камеры-реактора.

Скорость перемещения фронта горения по высоте слоя биомассы определялась по изменению температуры в слое. По мере продвижения фронта горения слой материала последовательно проходил стадии нагрева и выхода газообразных компонентов. Скорость прохождения фронта горения по высоте слоя составила 4–5 мм/мин. Выполненные исследования подтвердили существенное влияние равномерности воспламенения верхней поверхности слоя и равномерности распределения потока воздуха по сечению слоя на стабильность движения тепловой волны. В состав летучих продуктов пиролиза входили CO₂, H₂, H₂O, CH₄, CO, O₂, смолы и другие органические соединения. Таким образом, только часть окислителя, поступающего в слой, реагирует во фронте горения.

Пиролизный газ выходит из камеры-реактора с температурой 200–300 °С, теплота сгорания пиролизного газа с учетом конденсирующихся продуктов пиролиза составила 12–15 МДж/м³. При этом, наиболее эффективное использование потенциала пиролизного газа имеет место при его сжигании в горячем состоянии, без очистки от смол.

Оценка эффективности технологии пиролиза в плотном слое составляет 92–96 % с учетом химического потенциала коксового остатка.

Выводы

На основе процесса окислительного пиролиза мелкодисперсной биомассы в плотном слое разработана схема энергетического использования пиролизного газа для нужд теплоснабжения. Установка непрерывного действия включает инжекционную горелку, обеспечивающую работу установки под разрежением и сжигание пиролизного газа на огнеупорной насадке, обеспечивающей минимальные выбросы вредных веществ в атмосферу.

Список использованных источников

1. Парфенюк А.С., Антонюк С.И., Топоров А.А. Диоксины: проблема техногенной безопасности технологий термической переработки углеродистых отходов // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2002. № 6. С. 40–44.
2. Комплексная технология термической переработки отходов биомассы / Ю.В. Шишко, А.Ю. Усенко, С.М. Губинский, Р.Г. Хейфец, Е.В. Кремнева, Г.Л. Шевченко // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика: збірник наукових праць. Випуск 2. Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2010. 268 с. С. 217–227.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ПОДОВОГО ЭЛЕКТРОДА ДППТ С ВОДЯНЫМ И ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Ячиков М.И., Ячиков И.М.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
г. Магнитогорск, Россия*

Одним из основных элементов дуговой печи постоянного тока (ДППТ) является подовый электрод, позволяющий подводить ток к шихте. На российских предприятиях, как правило, используются конструкции подового электрода, состоящие из стальной головки, контактирующей с жидким металлом, и медного водоохлаждаемого корпуса (рис. 1). Стальная часть обеспечивает способность электрода самовосстанавливаться, а медная – является зоной охлаждения и вынесена за пределы корпуса печи.

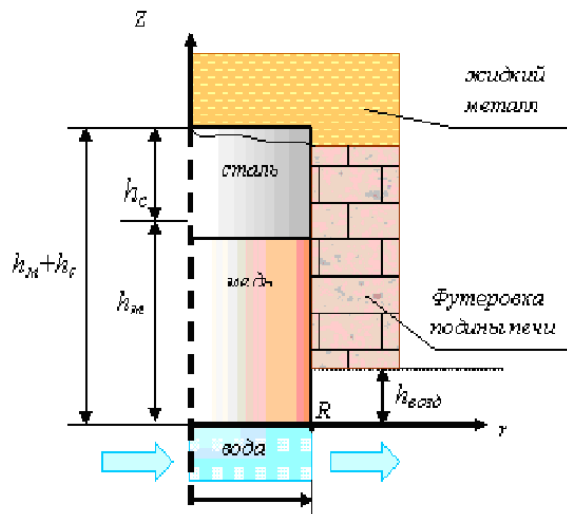


Рис. 1. Схематическое изображение подового электрода ДППТ с водяным охлаждением

При работе печи стальная часть электрода плавится, образуя в месте контакта с расплавом анодную яму. Одним из основных недостатков такого подового электрода является опасность контакта расплавленного металла с водой. Поэтому тепловое состояние подового электрода контролируется термопарами.

Одной из альтернативных мер по повышению безопасности работы подового электрода ДППТ может быть замена охлаждающей воды воздухом. Из литературы известно, что этот подход уже используется за рубежом. Трудности подобного перехода связаны с обеспечением приемлемых тепловых условий работы подового электрода из-за относительно низкого